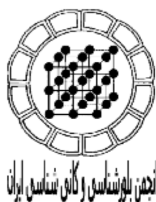
مجله
بلورشناسی
و کانی‌شناسی
ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۴۱۹ تا ۴۳۴



زمین‌شناسی، کانی‌سازی، زمین‌شیمی و بررسی سیال‌های درگیر در رخداد معدنی مس کیمیا، شمال‌غرب بردسکن، استان خراسان رضوی

حامد امینی‌زهان[۱]، آزاده ملکزاده شفارودی[۲*]، محمدحسن کریم‌پور[۲]

۱-گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی‌مشهد، مشهد، ایران

۲-گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۹/۲، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۱)

چکیده: منطقه مس کیمیا در مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن شمال‌غرب بردسکن در استان خراسان‌رضوی قرار دارد. زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی-بازالتی، کنگلومرا با قطعه‌های آندزیتی، سنگ‌آهک نومولیت‌دار و ماسه‌سنگ توفی است. کانی‌سازی در واحدهای آندزیتی و کنگلومرا و همچنین در مرز بین این واحدها به شکل رگچه، پرکننده حفره‌ها، و جانشینی و پراکنده دیده می‌شود. کانی‌های اولیه کالکوزیت، پیریت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت و اکسیدآهن هستند. گسل‌های منطقه در دو راستای شمال‌شرقی-جنوب غربی و شمال‌غربی-جنوب‌شرقی با شیب ۴۵ درجه قرار دارند. رگچه‌های اصلی در منطقه کلسیت-کوارتز-پیریت، کلسیت-کالکوزیت و کلسیت-باریت-پیریت هستند. دگرسانی‌های در ارتباط با رگچه، سیلیسی و کربناتی و مربوط به واحدهای آذرین، پروپلیتی، کربناتی و کلریتی هستند. مقدار عنصر مس در منطقه بین ۶۹۵۰ و ۴۷۹۳۵ گرم بر تن است و سایر عناصر مقدار کمی دارند. براساس بررسی‌های سیال‌های درگیر، کمترین دمای تشکیل بین ۲۲۸ تا ۳۶۸ درجه سانتی‌گراد و درجه‌شوری بین ۱۰٫۴ تا ۱۶٫۹درصد است. براساس شواهد سنگ میزبان، ساخت و بافت‌ها، کانی‌سازی و دگرسانی‌های موجود، کانی‌سازی مس در منطقه مس کیمیا از نوع مانتو است.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌شناسی؛ زمین شیمی؛ سیال‌های درگیر؛ مس مانتو؛ پهنه سبزوار.*

مقدمه

مجموعه آتشفشانی-رسوبی شمال‌غربی شهرستان بردسکن شامل سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی دارای بلورهای درشت همراه با سنگ آهک نومولیت‌دار، رسوب‌های تبخیری، مارن و کنگلومرا بوده که با یک روند شمال‌شرقی–جنوب‌غربی تشکیل شده‌است. این مجموعه به سن ائوسن بوده و از نظر ساختاری در جنوب پهنه سبزوار واقع است. مرز شمالی این پهنه گسل شاهرود، مرز جنوبی آن در سمت شرق گسل ریوش و به طرف غرب گسل درونه است [۱]. پهنه سبزوار از نظر کانی‌سازی اهمیت بسیاری دارد و از پهنه‌های مهم ایران برای عناصر Cu-Zn-Au-Ag-Pb چون کانسار چندفلزی ماسولفید توده‌ای تکنار [۲]، کانی‌سازی اکسیدآهن-مس منطقه نامق [۳]، ذخیره منگنز استاج [۴] و طلا مانند کانسار دامن‌قر [۵] است. همچنین در شمال‌غرب بردسکن به دلیل وجود محیط آتشفشانی-رسوبی، کانسارهای نوع مانتو اهمیت بسیاری دارند. کانسارهای مهم این منطقه شامل کانسار مس کال‌ابری [۶]، کانسار مس چشمه‌گز [۷] بوده و مناطق زنگانلو، دهنه سیاه و چشمه زلزله نیز دارای کانی‌سازی مس هستند. منطقه معدنی مس کیمیا در بین طول‌های جغرافیایی ″۵۱°۴۰′ ۵۱٫۰۵ تا ″۵۷° ۳۵′ ۳۴٫۰۴ و عرض‌های جغرافیایی ″۳۵° ۲۵′ ۰۲٫۳۷ تا ″۳۵° ۲۵′ ۳۱٫۳۶ واقع است. این منطقه اکتشافی به نام آقای علیرضا ماهی فیض آبادی بوده و کار انجام شده در منطقه به

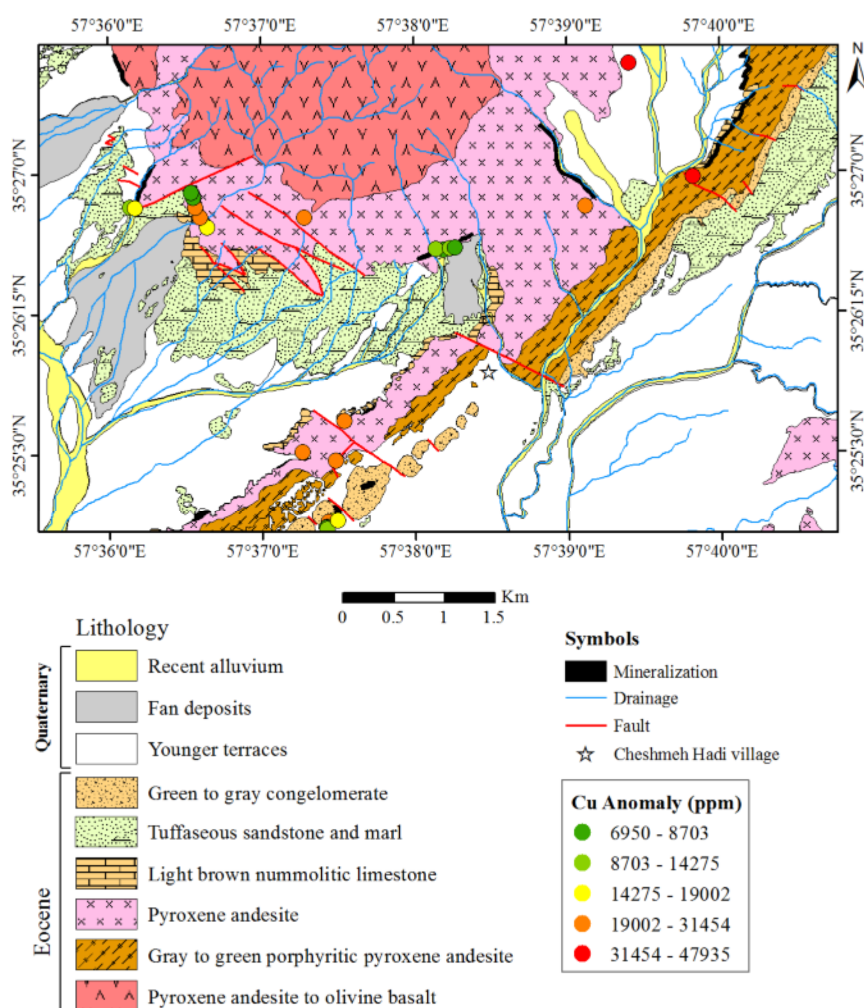
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۱۱۹۲۱۳۲، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

صورت گزارش اکتشافی است. در این پژوهش، منطقه مورد نظر برای نخستین بار بررسی علمی می‌شود. همچنین در این منطقه، ۵۵ ترانشه و ۳۳ گمانه حفر شده و تعدادی تجزیه زمین شیمیایی برای عنصر مس انجام شده‌است. در این پژوهش، با تهیه نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی با مقیاس مناسب، ارتباط واحدهای آتشفشانی-رسوبی با کانی‌سازی، بررسی مغزه‌ها، بررسی زمین‌شیمی، همبرزایی و سیال‌های درگیر برای تعیین دما و شوری محلول کانه‌دار و دگرگونی سیال بررسی شده‌اند.

زمین‌شناسی

منطقه مس کیمیا در جنوب پهنه سبزوار و گسل ریوش، در مرکز نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر [۸] و در شمال‌غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن [۹] واقع است. همچنین روستای چشمه‌هادی در مرکز منطقه مورد بررسی قرار دارد. واحدهای سنگی ترکیبی از سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی و بیشتر وابسته به دوران سنوزوییک هستند. ترکیب سنگ‌ها شامل آندزیت، تراکیت، آمیزه‌های افیولیتی، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن توفی و سنگ آهک به سن ائوسن است. روند بیشتر گسل‌ها شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است. واحدهای اصلی منطقه به دو بخش واحدهای ائوسن و کواترنری تقسیم می‌شوند (شکل۱). واحدهای ائوسن شامل سنگ آهک نومولیت‌دار، الیوین بازالت تا پیروکسن آندزیت، آندزیت‌های خاکستری سبز رنگ، پیروکسن آندزیت‌های سبز تا خاکستری با بافت درشت بلور، ماسه‌سنگ و مارن‌توفی و کنگلومرا بوده و واحدهای کواترنری شامل رسوب‌های جوان، مخروط‌افکنه‌ها، آبرفت‌ها و رسوب‌های عهد حاضر هستند (شکل۱).



شکل۱ نقشه زمین‌شناسی، کانی‌سازی و مقدار مس سطحی در منطقه مس کیمیا، شمال‌غرب بردسکن، استان خراسان‌رضوی [۱۰].

در شمال منطقه، واحد پیروکسن آندزیت-الیوین بازالت قرار دارد و دارای قطعه‌های ریز تا متوسط پلاژیوکلاز همراه با الیوین، هورنبلند و پیروکسن است. واحد پیروکسن آندزیت در شمال منطقه به صورت ناوشکل تشکیل‌شده است و بخشی دیگر با روند شمال‌شرقی-جنوب‌غربی در کنار واحد آندزیت خاکستری مایل به سبز قرار دارد (شکل۲ الف). این واحد دارای بافت پورفیری بوده که شامل قطعه‌های متوسط تا درشت پلاژیوکلاز با زمینه‌ای ریز و همچنین پیروکسن کمتر از ۵ درصد و هورنبلند کمتر از ۳ درصد است. واحد کنگلومرا که روند آن نیز شمال‌شرقی-جنوب‌غربی بوده در کنار واحد پیروکسن آندزیت به رنگ خاکستری تا سبز است (شکل۲ الف). این واحد دارای سیمانی کربناتی و قطعه‌های گردشده از جنس آندزیت است (شکل۲ ب). در کنار آن، واحد پیروکسن آندزیت به رنگ خاکستری تا سبز با قطعه‌های متوسط تا درشت پلاژیوکلاز همراه با پیروکسن کمتر از ۵ درصد و هورنبلند کمتر از ۳ درصد در زمینه‌ای دانه‌ریز از پلاژیوکلاز نیز با همین روند قرار دارد (شکل ۲ پ). واحدهای ماسه‌سنگ و مارن توفی نیز در سراسر منطقه رخنمون دارند و به رنگ سفید تا سبزکمرنگ هستند (شکل ۲ ت). آهک نومولیت‌دار با رنگ قهوه‌ای روشن و به سن ائوسن بوده که رخنمون آن در منطقه کم است و درکنار واحد پیروکسن آندزیت قرار دارد. همچنین، کانی‌سازی در ارتباط با سامانه‌های گسلی در منطقه و بیشتر در مرز بین واحدهای آتشفشانی از نوع آندزیتی با واحدهای رسوبی که بیشتر کنگلومرا و ماسه سنگ هستند دیده می‌شود. براساس گزارش جباری [۶]، منطقه شمال‌غرب بردسکن سنگ‌های آذرین از نوع آهکی قلیایی و متاآلومین دارد و همچنین مهوشی [۷] نیز سنگ‌های آتشفشانی میزبان را از نوع آهکی قلیایی و متاآلومین معرفی کرده است. منطقه مورد بررسی با پیروی از پهنه و زیرپهنه ساختاری (پهنه ایران‌مرکزی، زیرپهنه سبزوار) که در آن قرار دارد، دارای شرایط زمین‌ساختی ویژه و پیچیده‌ای است، زیرا منطقه در یک پهنه ساختاری فعال و پرتنش که در واقع محل برخورد روندهای ساختاری مهم ایران است قرار دارد. قرارگیری منطقه در زیرپهنه آمیزه افیولیتی ملانژ-آتشفشانی سبزوار با روند غربی-شرقی و همچنین وجود گسل‌های درونه و تکنار در جنوب آن از عوامل مهم و تعیین کننده ساختار زمین‌ساختی منطقه هستند. افزون بر دو گسل بزرگ و مهم یاد شده، وجود گسل-های کوچک و محلی بسیار هر یک با عملکردی متفاوت، بر پیچیدگی زمین‌ساختی منطقه افزوده است.



شکل۲ تصاویر الف) واحدهای سنگی منطقه (جهت دید به سمت شمال شرقی)، ب) واحد کنگلومرا با قطعه‌های گرد شده آندزیتی، پ) واحد آندزیتی با کانی‌سازی مالاکیت و ت) واحد ماسه‌سنگ و مارن توفی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

روش بررسی

در راستای دستیابی به اهداف مورد نظر، برداشت اطلاعات صحرایی و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و کانی‌سازی انجام شد. نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه تصحیح شده و همچنین نقشه کانی‌سازی و دگرسانی تهیه گردید. ۱۰۶ مقطع نازک و ۲۰ مقطع نازک صیقلی و قطعه صیقلی تهیه و بررسی شدند. ۸ نمونه خرده‌سنگی برای تجزیه به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) ۲۶عنصری به شرکت مطالعات معدنی زرآزما ارسال شده‌اند. از داده‌های به دست امده از شرکت مس کیمیا در مورد ۳۴ نمونه از ترانشه‌ها و پیشکارهای منطقه فقط برای عنصر مس (توسط شرکت مطالعات معدنی زرآزما) نیز استفاده شد. همچنین از نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی ۶ نمونه برای عنصر مس به روش AQ201 توسط آزمایشگاه ACME کانادا و تجزیه ۲۷ نمونه از ترانشه‌ها برای عنصر مس به روش تیتر کردن توسط آزمایشگاه تجزیه کنندگان بلورین آمتیس شرق در مشهد استفاده گردید. سیال‌های درگیر در سه نمونه از سه نوع رگچه مختلف انتخاب و با دستگاه سردکننده و گرم‌کننده ساخت شرکت لینکام مدل THM 600 با دقت $\pm 1\,^{o}C$ در گستره دمایی ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد، در دانشگاه فردوسی مشهد بررسی شدند. مقدار شوری در سامانه H2O-NaCl با برنامه HOKIEFLINCS_ H2O-NaCl [۱۱] در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. سپس نمودارهای دمای همگن‌شدگی و شوری با نرم افزار SPSS رسم گردیدند. سرانجام اطلاعات بدست آمده برای سیال‌های درگیر تفسیر شدند.

کانی‌سازی

کانی‌سازی مس به صورت رگچه در مرز بین لایه‌های آندزیتی و رسوبی و بیشتر در راستای شمال‌شرقی-جنوب‌غربی با ضخامت کمتر از ۳ سانتی‌متر و شیب ۴۵ و ۹۰ درجه رخ داده است. بخش دیگری از کانی‌سازی در خود واحدهای آندزیتی، کنگلومراهای دارای قطعه‌های گردشده آندزیتی و سنگ آهک است. کانی‌های اولیه کالکوپیریت، کالکوزیت و پیریت به همراه کانی‌های باطله کلسیت، کوارتز، باریت و کلریت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، گوتیت و هماتیت هستند. کانی‌سازی در قالب بافت‌های رگچه‌ای، پرکننده حفره‌ها و جانشینی دیده می‌شود (شکل۳).

ساخت و بافت

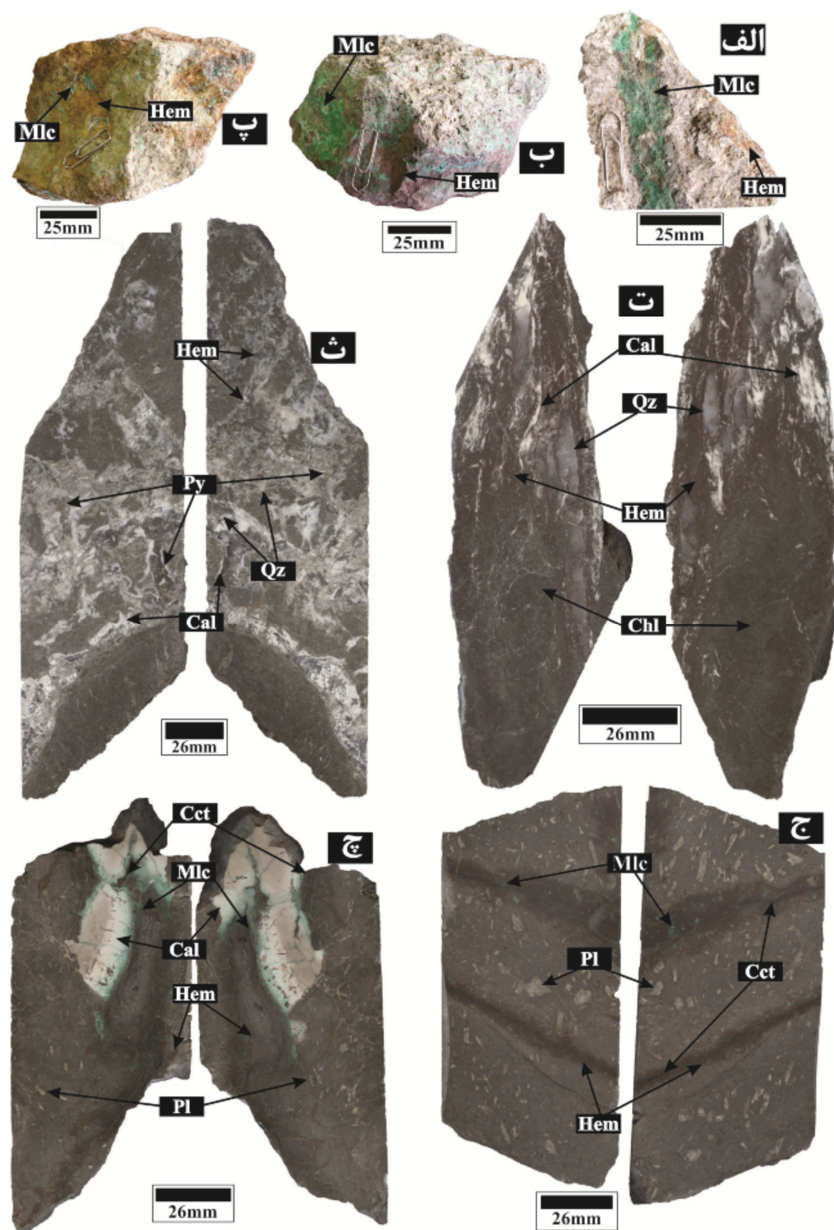
بافت رگچه‌ای: ضخامت رگچه‌ها کمتر از ۵ سانتی‌متر و تراکم آن بین ۳ تا ۸ عدد در مترمربع است. رابطه سن نسبی رگچه‌ها و روابط قطع‌شدگی مشخصی دیده نشد، اما رگچه‌های اصلی در منطقه به سه دسته کلسیت-کالکوزیت، کلسیت-کوارتز-پیریت و کلسیت-باریت-پیریت تقسیم می‌شوند. رگچه‌های کلسیت-کالکوزیت دارای ضخامت ۲ تا ۸ میلی‌متر هستند. فراوانی این رگچه‌ها کم است و دارای ۱۵ تا ۲۰ درصد کالکوزیت و ۸۰ تا ۸۵ درصد کلسیت هستند. کالکوزیت در این رگچه‌ها بیشتر به مالاکیت و کمتر به کوولیت تبدیل شده است و گاهی باقیمانده‌هایی از کالکوزیت دیده می‌شود و مقدار کمی اکسیدآهن نیز دارد (شکل ۳ الف). رگچه کلسیت-کوارتز-پیریت دارای ضخامت کمتر از ۲ سانتی‌متر است. کانی‌سازی به صورت کانی‌های باطله پیریت با بافت پراکنده حدود ۴۵ درصد، کلسیت ۳۵ تا ۴۰ درصد و کوارتز ۱۰ تا ۱۵ درصد از رگچه را شامل می‌شوند. رگچه کلسیت-باریت-پیریت نیز دارای ضخامت کمتر از ۵ میلی‌متر و فراوانی کم است. در این رگچه‌ها، کانی اولیه پیریت ۱۵ تا ۲۰ درصد بوده که حدود ۳ تا ۵ درصد به کانی ثانویه گوتیت و ۱۰تا ۱۵درصد به هماتیت تبدیل شده است. همچنین کانی‌های باطله در رگچه شامل ۴۵ تا ۵۰ درصد کلسیت و ۲۰ تا ۲۵ درصد باریت هستند.

بافت پرکننده حفره‌ها: کانی‌سازی در این بافت به صورت کانی‌سازی کالکوزیت و مالاکیت دیده می‌شود. کلریت در بیشتر بخش‌ها نیز دارای بافت پرکننده حفره‌هاست (شکل‌های ۳ ب و پ).

بافت جانشینی: این نوع بافت در بیشتر نمونه‌ها دیده می‌شود که کانی‌های مالاکیت و کوولیت جانشین کالکوزیت، هماتیت و گوتیت جانشین پیریت شده‌اند. آنها حدود ۱۵تا ۲۰ درصد به مالاکیت و براساس بررسی مقطع آن‌ها، حدود ۲ تا ۵ درصد به کوولیت تبدیل شده‌اند (شکل ۳ پ).

بافت پراکنده: بافت پراکنده در بیشتر نمونه‌ها مربوط به کانی‌سازی پیریت است. پیریت در منطقه بین ۳ تا ۵ درصد در زمینه واحدهای آندزیتی دیده می‌شود. همچنین کانی‌سازی مالاکیت نیز در بعضی از نمونه‌ها به صورت پراکنده وجود دارد (شکل‌های ۳ پ و ث).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]



شکل۳ تصاویر کانی‌سازی در نمونه‌های دستی و مغزه‌های منطقه کیمیا. الف)کانی‌سازی مالاکیت به صورت بافت رگچه‌ای همراه با اکسید آهن در واحد پیروکسن آندزیت، ب و پ)کانی‌سازی مالاکیت جانشین کالکوزیت با بافت جانشینی به همراه اکسیدآهن در واحد پیروکسن آندزیت، ت)ـ اکسیدآهن، کوارتز، کلسیت و کلریت در واحد کنگلومرا با بافت پرکننده فضای خالی، ث) کانی‌سازی پیریت همراه با کانی‌های کوارتز و کلسیت در واحد کنگلومرا، ج)کانی‌سازی کالکوزیت و مالاکیت در واحد پیروکسن آندزیت به صورت رگچه‌ای که مالاکیت جانشین کالکوزیت شده‌است و چ) کانی‌سازی کالکوزیت و مالاکیت در واحد پیروکسن آندزیت که مالاکیت جانشین کالکوزیت شده‌است (هماتیت=Hem، مالاکیت=Mlc، کلسیت=Cal، کوارتز=Qz، کالکوزیت=Cct، پیریت=Py و پلاژیوکلاز=Plg، [۱۲]).

کانی‌شناسی ماده معدنی

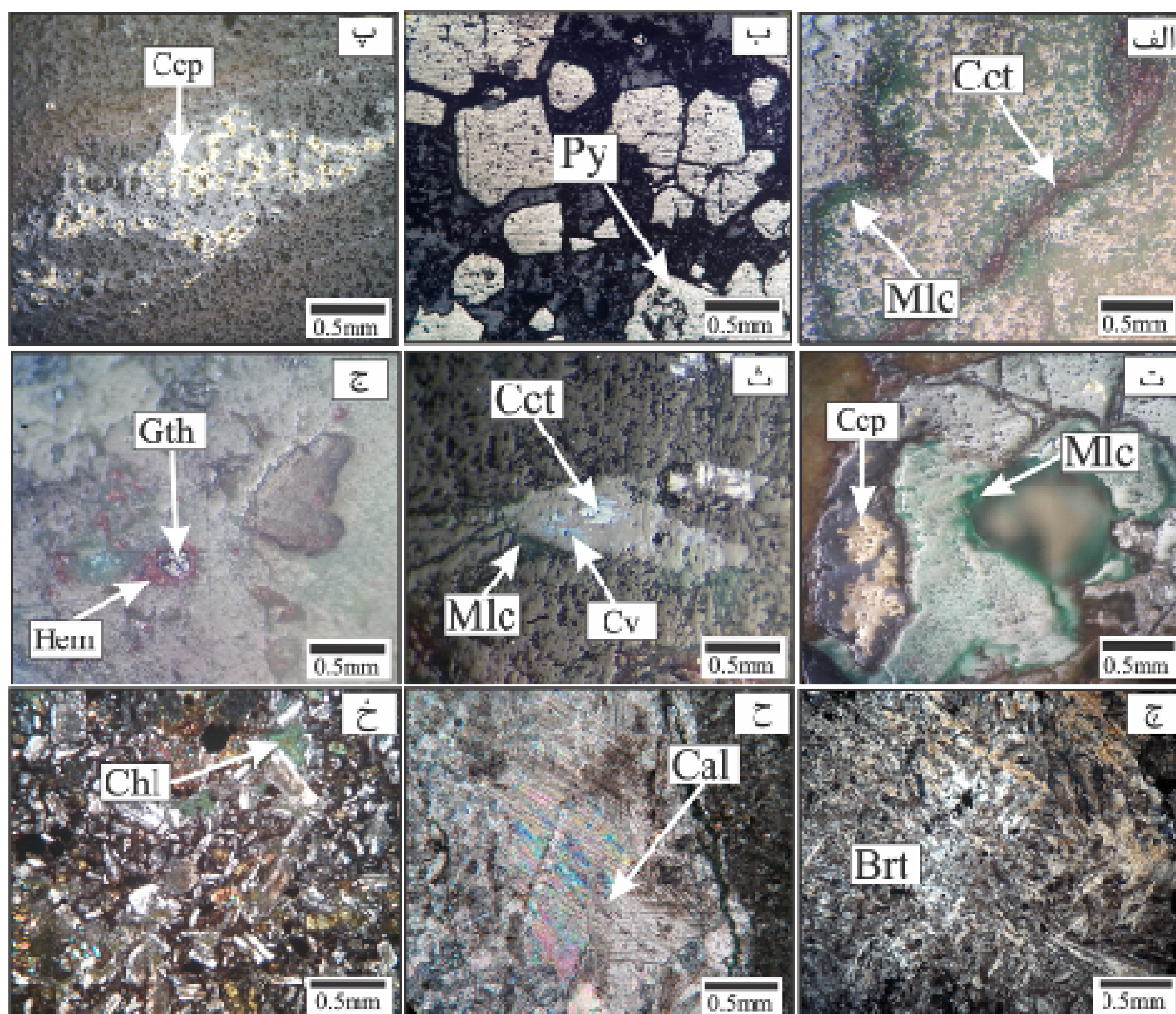
کالکوزیت: مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی اولیه مس در منطقه مس کیمیا کالکوژیت است که به شکل رگچه و پرکننده حفره‌ها در واحدهای آندزیتی یافت می‌شود. ضخامت رگچه‌ها کمتر از ۲ تا ۸ میلی‌متر است. گاهی رگچه‌های کالکوزیت به صورت ثانویه نیز دیده می‌شوند. مقدار تبدیل آن به مالاکیت بین ۱۰ تا ۱۵ درصد و به کوولیت بین ۲ تا ۵ درصد است. مقدار این کانی در کل منطقه کمتر از ۱۰ درصد است (شکل ۴ الف).

پیریت: این کانی در منطقه در واحدهای سنگ میزبان آندزیتی و کنگلومرای آتشفشانی ائوسن دیده شده است. پیریت همچنین در کل منطقه به صورت پراکنده، شکل‌دار و نیمه شکل‌دار وجود دارد. این کانی در رگچه‌های منطقه نیز در کنار کلسیت دیده می‌شود. مقدار آن در نمونه‌ها کمتر از ۵ درصد بوده که در بعضی بخش‌ها به گوتیت تبدیل شده است. اندازه این ذرات کمتر از ۰/۵ میلی‌متر است (شکل ۴ ب).

کالکوپیریت: کالکوپیریت به صورت کانی اولیه با بافت پراکنده در واحد پیروکسن آندزیت دیده می‌شود. مقدار آن در منطقه کمتر از ۱ درصد است (شکل‌های ۴ پ و ت).

مالاکیت: مالاکیت فراوان‌ترین و مهم‌ترین کانی ثانویه مس در منطقه است. که به صورت رگچه، جانشینی و پرکننده حفره‌ها یافت می‌شود. مقدار آن در منطقه بین ۳۵ تا ۴۰ درصد است. ضخامت رگچه‌ها بین ۲ تا ۸ میلی‌متر است و در همه واحدهای منطقه نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۴ الف و ت).

کوولیت: این کانی از تبدیل کانی اولیه کالکوزیت به صورت جانشینی در منطقه تشکیل شده‌است. مقدار آن در منطقه کمتر از ۳ درصد است (شکل ۴ ث).



شکل۴ تصاویر میکروسکوپی از انواع بافت و کانی‌سازی در منطقه کیمیا الف)کالکوزیت با بافت رگچه‌ای که از لبه در حال تبدیل به مالاکیت است، ب)کانی‌سازی پیریت با بافت پراکنده، پ) کانی‌سازی کالکوپیریت با بافت پراکنده، ت)کانی‌سازی کالکوپیریت به صورت پراکنده که از لبه در حال تبدیل به مالاکیت است، ث)کانی‌سازی کالکوزیت با بافت جانشینی در حال تبدیل به مالاکیت و کوولیت، ج)گوتیت در حال تبدیل از لبه به هماتیت، چ)باریت همراه با کانی‌سازی در نور قطبیده صفحه‌ای (PPL)، ح)کلسیت های در ارتباط با کانی‌سازی در نور PPL و خ)کلریت با بافت جانشینی در واحد پیروکسن آندزیت در نور قطبیده متقاطع (XPL). تصاویر الف تا ج در PPL بازتابی ثبت شده‌اند. (هماتیت=Hem، مالاکیت=Mlc، کلسیت=Cal، کوارتز=Qz، کالکوزیت=Cct، گوتیت=Gth، باریت=Brt، کوولیت=Cv، پیریت=Py و کالکوپیریت=Ccp) [۱۲]).

گوتیت: گوتیت از تبدیل کانی اولیه پیریت تشکیل شده‌است. این کانی به صورت جانشینی و پراکنده یافت می‌شود. مقدار آن در منطقه کمتر ۵ درصد است. همچنین این کانی از لبه در حال تبدیل به اکسیدآهن است (شکل ۴ ج).

باریت: باریت در منطقه بسیارکم است. این کانی همراه با کانی‌سازی به صورت رگچه‌ای دیده می‌شود. مقدار آن در منطقه کمتر از ۲ درصد است (شکل ۴ چ).

کلسیت: این کانی در بیشتر نمونه‌های کانی‌سازی، در واحدهای آندزیتی و آهک‌های نومولیت‌دار یافت می‌شود. همچنین کلسیت به صورت بافت رگچه‌ای، پرکننده حفره‌ها و جانشینی در واحدهای منطقه دیده می‌شود که بیشترین مقدار کلسیت در رگچه‌ها و همراه با کانی‌سازی مس است. مقدار آن در کل منطقه حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد است. کوارتز در نمونه‌ها بسیار کم به صورت اولیه همراه با کانی‌سازی با بافت رگچه‌ای یافت می‌شود که مقدار آن کم‌تر از ۳ درصد در منطقه است (شکل ۴ ح).

کلریت: کلریت نیز با بافت پرکننده حفره‌ها و جانشینی در منطقه دیده می‌شود. مقدار آن در منطقه بین ۱۵ تا ۲۰ درصد است (شکل ۴ خ).

دگرسانی محلی به دلیل فعالیت‌های سیال کانه‌ساز در منطقه مس کیمیا ایجاد شده و در ارتباط با کانی‌سازی در منطقه است. همچنین این دگرسانی در مناطق کانی‌سازی شدت بیشتری دارد و با فاصله گرفتن از نواحی کانی‌سازی از شدت آن‌ها کم می‌شود. بر این اساس، پیرامون پهنه‌های کانی‌سازی کانی‌های کلریت و کربناتی دیده می‌شود.

توالی همبری

براساس نتایج به دست آمده و بررسی کانی‌های منطقه، کانی‌های اولیه شامل کالکوزیت، پیریت به همراه کانی‌های غیر فلزی کلسیت، کوارتز، کلریت و باریت و کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت، کوولیت، گوتیت و هماتیت هستند (شکل ۵). ترتیب زمانی در رگچه‌های اصلی به این صورت است که کانی‌های اولیه پیریت، کلریت و کلسیت تقریبا در همه شرایط تشکیل شده‌اند؛ کانی اولیه باریت نیز فقط در اوایل تشکیل حضور داشته و در اواسط فرآیند تشکیل کالکوزیت نیز شکل گرفته است. در اواخر فرآیند نیز، کانی کوارتز تشکیل شده‌است. همچنین مقدار کانی‌های اولیه کالکوزیت و کلسیت نسبت به کوارتز، کلریت، باریت و پیریت در منطقه بیشتر است. کانی اولیه کالکوزیت در بیشتر بخش‌ها به مالاکیت و کمتر به کوولیت تبدیل شده و کانی پیریت نیز گاهی به گوتیت و هماتیت تبدیل شده‌است. در بین کانی‌های ثانویه نیز، مالاکیت بیشترین حضور در منطقه را نسبت به کوولیت، گوتیت و هماتیت دارد. همچنین کانی‌سازی کالکوپیریت در منطقه در ارتباط با کانی‌سازی کالکوزیت نیست.

شکل۵ توالی همبرزایی کانی‌های اولیه و ثانویه منطقه مس کیمیا.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

زمین شیمی ماده معدنی

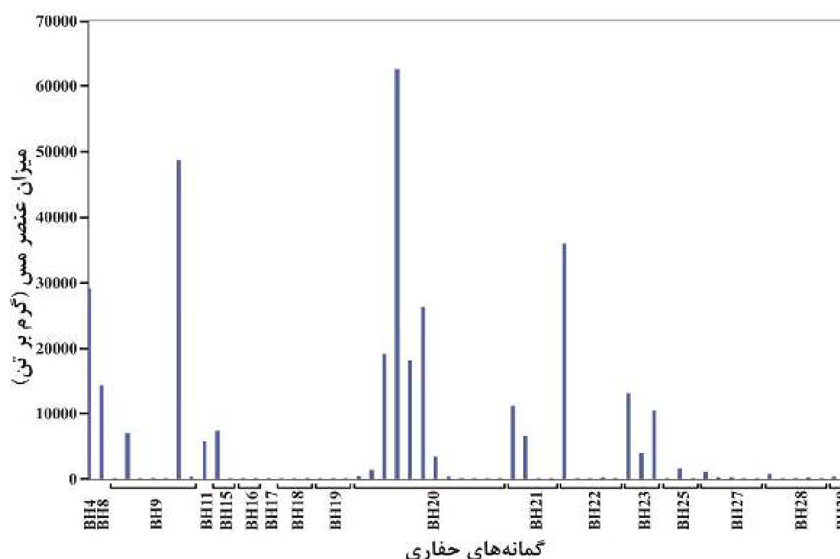
با توجه به تجزیه‌های انجام شده برای نمونه‌های سطحی، کمترین مقدار عنصر مس ۶۹۵۰ گرم بر تن در برخوردگاه واحد پیروکسن آندزیت با ماسه‌سنگ توفی و مارن از بخش مرکزی منطقه و بیشترین مقدار آن ۴٫۸ درصد که از شمال‌غربی منطقه در برخورد واحد پیروکسن آندزیت با سنگ آهک نومولیت‌دار است. به طور میانگین، مقدار مس سطحی در منطقه ۱٫۸ درصد است (جدول ۱، شکل ۲). مقدار بالای مس به دلیل وجود کانی اولیه کالکوزیت و کانی‌های ثانویه مالاکیت و کوولیت بوده که به صورت رگچه، پراکنده و پرکننده حفره‌ها تشکیل شده است. دگرسانی غالب در محل‌های کانی‌سازی پروپلیتی و کربناتی متوسط است. همچنین در منطقه، بیشترین مقدار عناصر دیگر نقره ۱۶٫۳ گرم بر تن، سرب ۶۲ گرم بر تن، روی ۶۰ گرم بر تن و به طور کلی مقدار آن‌ها پایین است (جدول ۲). مقدار عنصر مس در نمونه‌های زیرسطحی برداشت شده از گمانه‌های حفاری منطقه با نمودار ارزیابی گردیده است (شکل ۶). بر این اساس، کمترین مقدار عنصر مس در گمانه‌ها ۲۴گرم بر تن و بیشترین مقدار آن ۶٫۲ درصد مربوط به گمانه BH20 در جنوب‌غربی منطقه، در عمق ۱۲ تا ۱۴متر است. همچنین، واحد سنگی آن کنگلومرای آتشفشانی ائوسن بوده و دگرسانی آن نیز پروپیلیتی متوسط-کربناتی ضعیف است.

جدول۱ مقدار عنصر مس در منطقه کیمیا بر اساس گزارش‌های مرجع [۱۲].

مقدار مس(گرم بر تن)	سطحی	گمانه‌ها
حداقل	۶۹۵۰	۲۴
حداکثر	۴۷۹۳۵	۶۲۶۰۳
میانگین	۱۸۲۶۱	۶۰۱۹

جدول۲ نتایج تجزیه نمونه‌های کانی‌سازی منطقه کیمیا به روش (ICP-OES) (برحسب گرم بر تن)، توسط شرکت مطالعات معدنی زرآزما.

عناصر (گرم بر تن) / نمونه	مختصات برداشت	Cu	Pb	Zn	Ag
CHEAP-۰۱	۳۵°۲۶'۴۶،۱۵"N - ۵۷°۳۶'۳۶،۰۱"E	۴۱۲۹۲	۳۰	۳۶	۰٫۹۳
CHEAP-۰۳	۳۵°۲۶'۴۹،۲۶"N - ۵۷°۳۹'۶،۷۸"E	>٪۵	۲۷	۳۸	۰٫۹۷
CHEAP-۰۴	۳۵°۲۶'۵۴،۵۶"N - ۵۷°۳۹'۱،۰۹"E	>٪۵	۶۲	۴۳	۱٫۲۵
CHEAP-۰۵	35°۲۵'۸،۶۱"N - ۵۷°۳۷'۲۷،۸۰"E	>٪۵	۳۷	۴۵	۱۱٫۹
CHEAP-۰۶	۳۵°۲۵'۸،۴۳"N - ۵۷°۳۷'۲۶،۲۸"E	۲۸۳	۲۲	۵۶	۰٫۵۸
CHEAP-۰۷	۳۵°۲۷'۳۵،۰۴"N - ۵۷°۳۹'۲۴،۵۴"E	>٪۵	۲۳	۵۱	۰٫۷۴
CHEAP-۰۸	۳۵°۲۷'۴۲،۳۸"N - ۵۷°۳۹'۲۴،۰۸"E	>٪۵	۳۰	۵۰	۰٫۷۷
CHEAP-۰۹	۳۵°۲۷'۳۲،۹۳"N - ۵۷°۴۰'۱۸،۲۱"E	>٪۵	۲۸	۶۰	۰٫۶۲



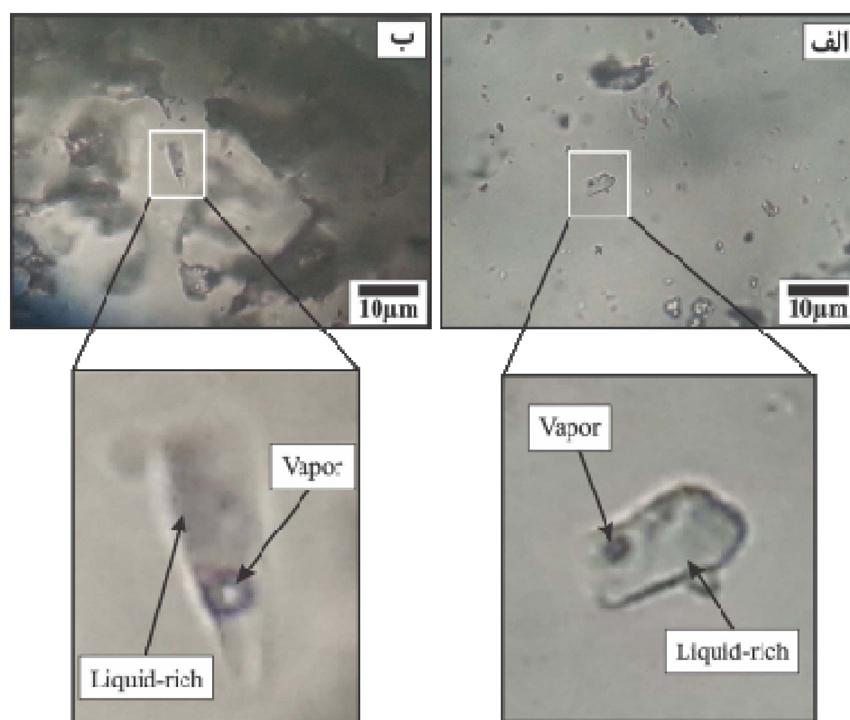
شکل۶ مقدار عنصر مس در نمونه‌های برداشت شده از مغزه‌های حفاری منطقه مس کیمیا

انتخاب نمونه و سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر

در منطقه مس کیمیا، کانی‌سازی مس به همراه کانی‌های باطله کوارتز، کلسیت و باریت در رگچه‌ها رخ داده است. سه نوع رگچه اصلی کلسیت-کوارتز-پیریت، کلسیت-باریت-پیریت و کلسیت-کالکوزیت در منطقه وجود دارند. نخست، ۱۰ مقطع نازک صیقلی از کانی‌های باطله موجود در رگچه و همراه با کانی‌سازی مس از گمانه‌های زیرسطحی در منطقه تهیه و بررسی شدند. با بررسی‌های سنگ‌نگاری بیشتر، ۵ نمونه که احتمال بیشتری برای وجود سیال‌های درگیر داشتند انتخاب شدند و مقطع دوبر صیقل از آن‌ها تهیه گردید. از این میان، ۶۵ سیال درگیر برای دماسنجی، آزمایش گرمایش و برای تعیین نوع نمک ها و مقدار شوری، آزمایش سرمایش شدند که داده‌ها در جدول ۳ آمده‌اند. سپس، شکل، اندازه و فاز سیال‌های درگیر، بررسی شد. اندازه سیال‌های درگیر بررسی شده منطقه مس کیمیا ۶ تا ۱۰ میکرون است، اما اغلب کوچکتر از ۶ میکرون هستند. آنها همچنین به صورت مدور و بی‌شکل بوده و کمتر میله‌ای و استوانه‌ای هستند (شکل۷). براساس بررسی‌های انجام شده و تقسیم‌بندی‌های متداول ردر [۱۳] و شفرد [۱۴]، این سیال‌ها از نوع دوفازی غنی از مایع (LV) و تک‌فازی مایع (L) هستند که بررسی‌ها بر سیال‌های دوفازی (LV) انجام شد.

جدول۳ چکیده نتایج ریزدماسنجی سیال‌های درگیر در منطقه مس کیمیا.

شماره نمونه	تعداد نمونه	نوع رگچه	کانی میزبان	T_h(°C)		T_m(°C)		شوری (wt.%)	
				کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
KA۱-۱۳	۱۷	Cal-Qtz-Py	کوارتز	۲۹۲	۳۳۲	-۱۳	-۱۲	۱۶	۱۷
KA۶۷	۱۴	Cal-Qtz-Py	کلسیت	۲۸۵	۳۳۰	-۱۴٫۲	-۱۳٫۲	۱۷٫۸	۱۸
KA۲-۲۳	۱۲	Cal-Cct	کلسیت	۲۳۰	۲۵۰	-۷٫۶	-۷٫۹	۱۰٫۴	۱۱٫۲
KA۳-۱۹A	۹	Cal-Cct	کلسیت	۱۴۹	۱۸۳	-۵٫۷	-۵٫۱	۱۸	۸٫۸
KA۱۰-۲۰	۱۳	Cal-Bar-Py	کلسیت	۳۰۰	۳۶۸	-۷٫۶	-۶٫۹	۱۰٫۴	۱۱٫۲



شکل۷ تصاویری از سیال های درگیر دوفازی غنی از مایع (LV) در زیر میکروسکوپ نوری.

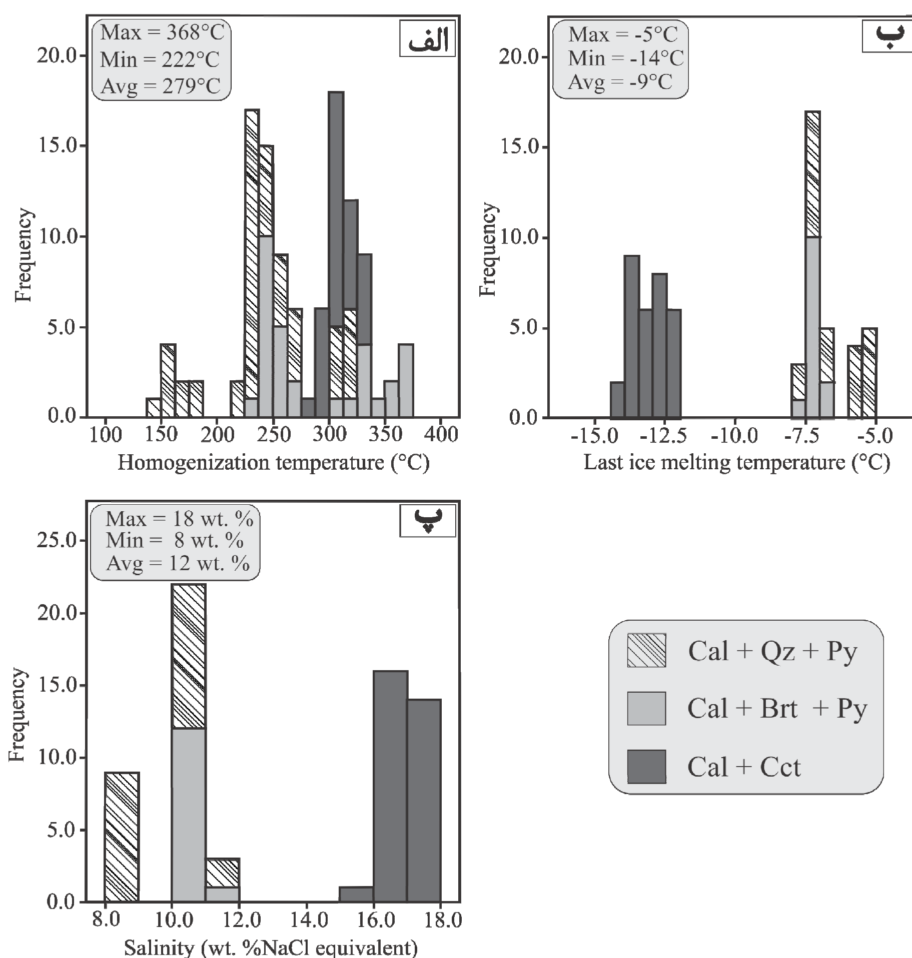
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

نتایج دماسنجی و تعیین شوری سیال‌های درگیر

با توجه به بررسی‌های انجام شده، کمترین دمای کلی همگن شدگی (T_h) منطقه ۱۴۹ تا ۳۳۲ درجه سانتی‌گراد و به طور میانگین دمای منطقه حدود ۲۶۲ درجه سانتی‌گراد است (جدول۳). دمای همگن‌شدگی در رگچه کلسیت-کوارتز-پیریت ۲۸۵ تا ۳۳۲ درجه سانتی‌گراد، در رگچه کلسیت-کالکوزیت ۱۴۹ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و در رگچه کلسیت-باریت-پیریت ۳۰۰ تا ۳۶۸ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۸ الف). نخستین دمای ذوب‌شدگی رابطه مستقیمی با ترکیب نمک موجود در سیال گرمابی دارد [۱۵]. براساس دمای نقطه همگدازی، نخستین دمای ذوب‌شدگی (T_{fm}) در سیال‌های درگیر ۵۰/۳- تا ۵۲/۴- درجه سانتی‌گراد و میانگین آن ۵۱/۲- درجه سانتی‌گراد است. بر این اساس می‌توان گفت که نمک‌های $MgCl_2$، $CaCl_2$ و KCl در این سیال‌ها وجود دارند.

دمای ذوب آخرین بلور یخ (T_m) در رگچه‌ها به طور کلی بین ۵/۱- تا ۱۴/۲- درجه سانتی‌گراد و به طور میانگین ۹/۷- درجه سانتی‌گراد است (جدول۳). Tmدر رگچه کلسیت-کوارتز-پیریت ۱۲- تا ۱۴/۲- درجه سانتی‌گراد و میانگین آن ۱۳- درجه سانتی‌گراد، در رگچه کلسیت-کالکوزیت ۵/۱- تا ۷/۶- درجه سانتی‌گراد و میانگین آن ۶/۴- درجه سانتی‌گراد و در رگچه کلسیت-باریت-پیریت ۶/۹- تا ۷/۶- درجه سانتی‌گراد و میانگین آن ۷/۱۶- سانتی‌گراد است (شکل ۸ ب). مقدار شوری در رگچه‌ها به طور کلی بین ۸ تا ۱۸ درصد و میانگین کلی آن ۱۳/۴ درصد است (جدول۳). شوری در رگچه کلسیت-کوارتز-پیریت ۱۶ تا ۱۸ درصد و میانگین آن ۱۷ درصد، در رگچه کلسیت-کالکوزیت ۸ تا ۱۱/۲درصد و میانگین آن ۹/۷ درصد و در رگچه کلسیت-باریت-پیریت ۱۰/۴ تا ۱۱/۲ درصد و میانگین آن ۱۰/۷ درصد است (شکل ۸ پ).

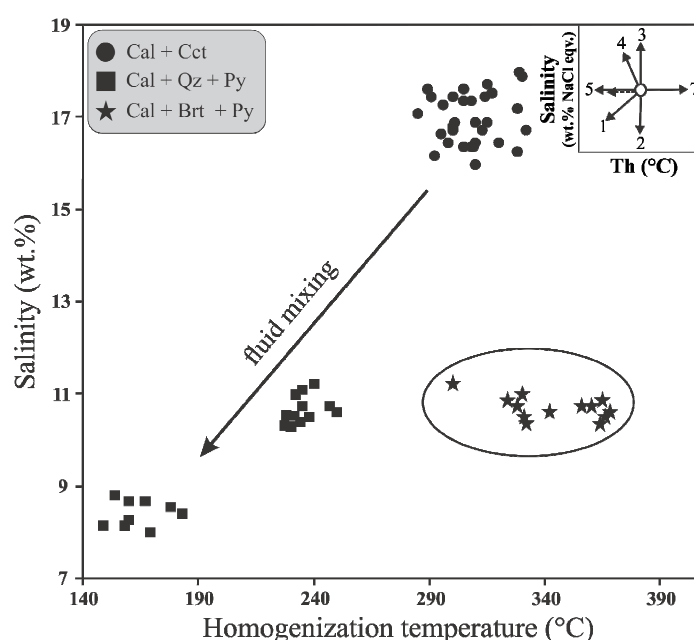


شکل۸ نمودارهای ستونی برآمده از تجزیه‌های سیال‌های درگیر منطقه مس کیمیا: الف) دمای همگن‌شدگی، ب) دمای ذوب آخرین بلور یخ و پ) درجه شوری.

بحث

دگرگونی سیال کانه‌دار: با توجه به نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری در شکل۹، رگچه کلسیت-باریت-پیریت بیشترین دمای همگن‌شدگی را دارد. مقدار شوری سیال آن نیز نسبت به رگچه کلسیت-کالکوزیت کم‌تر است. همچنین از نظر دمایی، رگچه کلسیت-کوارتز-پیریت نشان دهنده دو دسته با دمای کمتر از ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد و بیشتر از آن بوده که نشان دهنده سرد شدن آن در دو مرحله است. رگچه کلسیت-کالکوزیت که در ارتباط با مرحله اصلی کانی‌سازی مس در منطقه بوده، از سیالی با دمای کمی کمتر از رگچه پیشین (در برخی بخش‌ها از نظر دمایی همپوشی دارند) اما با شوری بیشتر تشکیل شده است. بنابراین می‌توان گفت که این دو نوع رگچه از دو سیال جداگانه تشکیل شده‌اند و رگچه نوع کلسیت-باریت-پیریت ربطی به کانی‌سازی مس منطقه ندارد. رگچه کلسیت-کوارتز-پیریت در کمترین دما تشکیل شده و میزان شوری آن نزدیک به رگچه نوع کلسیت-باریت-پیریت است. براساس شکل ۹، به احتمال بسیار فقط فرایند آمیختگی دو سیال دما و شوری بالا با سیال دما و شوری پایین مانند آب-های جوی نقش مهمی در تشکیل کانی‌سازی و رگچه‌های منطقه داشته است. رگچه کلسیت-کوارتز-پیریت نیز دارای دو گستره دما و شوری، یکی با دمای ۲۲۸ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و شوری بیش از ۱۰/۵ درصد و دیگری با دمای ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۸ تا ۹ درصد است.

بررسی‌های سوارد [۱۷،۱۶] نشان داده که در کانسارهای تشکیل شده در دماهای پایین‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و یا در کانسارهایی که کانی‌شناسی آن‌ها گویای شرایط احیاءکننده است، کمپلکس‌های بی‌سولفیدی غالب هستند. این در حالی است که در ذخایر شکل گرفته در دماهای بالاتر از حدود ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و یا با حضور کانی‌های اکسیدی یا سولفیدی که بیانگر شرایط به نسبت اکسید کننده هستند، کمپلکس‌های کلریدی غلبه دارند. دمای تشکیل بیشتر نمونه‌های منطقه مس کیمیا نشان‌دهنده حمل عناصر در قالب کمپلکس‌های بی سولفیدی است و کاهش دما و غلظت H_2S دو عامل مهم رخداد کانی‌سازی و ته‌نشست سولفیدها هستند. همچنین فرآیند آمیختگی محلول ماگمایی گرم و شور و محلول جوی سرد و کم‌شور می‌تواند باعث کاهش دما، ناپایداری کمپلکس‌ها و ته‌نشینی فلزها شود. شکل۱۰ نمودار عمق-دما-فشار سیال های درگیر منطقه مس کیمیا را نشان می‌دهد که براساس آن کانی‌سازی در منطقه در عمق ۵۰۰ متری تا یک کیلومتری بر اساس فشار سنگ‌ایستایی سطح زمین و فشار بین ۱۰ تا ۲۵ مگاپاسکال رخ داده است.

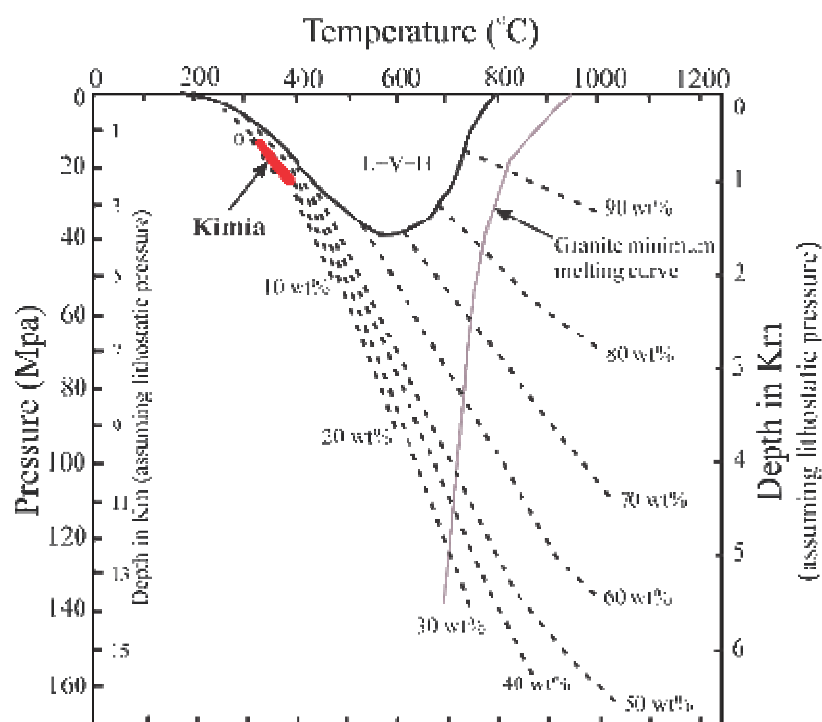


شکل۹ نمودار دمای همگن‌شدگی-درجه شوری منطقه مس کیمیا. روندهای ممکن تکامل سیال در نمودار دما-شوری[۱۳]: ۱) آمیختگی سیالA با سیال سردتر و شوری کمتر B، ۲ و ۳) آمیختگی سیالA با سیال‌های با شوری‌های مختلف ولی دمای یکسان، ۴) شوری فاز باقیمانده در اثر جوشش افزایش یافته است، ۵) سردشدگی سیال، ۶) باریک‌شدگی سیال‌های درگیر و ۷) تراوش سیال‌های درگیر طی گرمایش.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]



شکل ۱۰ نمودار دما-فشار-عمق برای سامانه H2O-NaCl [۱۸]. موقعیت محلول کانه‌دار منطقه مس کیمیا. (L =مایع، V=بخار، H=هالیت). خط‌چین‌ها نشان دهنده مقدار شوری محلول، خط سیاه رنگ نشانگر مرز سه فازی سامانه NaCl-KCl-H2O با Na/K در محلول به تعادل رسیده با آلبیت و فلدسپار قلیایی و خط خاکستری نشان‌دهنده منحنی ذوب کمینه گرانیت در دمای مورد نظر هستند.

مدل کانی‌سازی: براساس ویژگی‌های شناسایی شده مس‌کیمیا و بررسی مناطق پیرامون، این منطقه شباهت بسیار به کانسارهای نوع مانتو دارد. در این نوع کانسارها، ویژگی‌هایی چون موقعیت زمین‌ساختی، سنگ میزبان، هندسه، کانی‌های اصلی، ساخت و بافت، باطله همراه رگچه‌ها و دگرسانی اهمیت دارند.

کانسارهای نوع مانتو به طور کلی مربوط به موقعیت‌های زمین ساختی کمربندهای ماگمایی وابسته به پهنه‌های فرورانش هستند. از نظر هندسی، این کانسارها به صورت چینه‌کران بوده و سنگ میزبان آن‌ها اغلب سنگ‌های آتشفشانی چون بازالت، آندزیت، داسیت، تراکیت و دیگر سنگ‌های آتشفشانی هستند. همچنین از نظر کانی‌شناسی، کانی‌های اصلی آن‌ها شامل پیریت، کالکوپیریت، کالکوزیت و مس طبیعی هستند. ساخت و بافت در این نوع کانسارها بیشتر به صورت رگه و رگچه‌ای، پرکننده حفره ها، جانشینی و گاهی پراکنده نیز دیده شده‌است. از جمله باطله‌های این نوع از کانسارها می‌توان به کلسیت، سیلیس و به مقدار کم کلریت اشاره کرد. دگرسانی‌هایی که این نوع کانسارها ایجاد می‌کنند بیشتر به صورت پروپیلیتی، کربناتی و کمتر سیلیسی، آرژیلیکی و هماتیتی هستند.

در مقایسه منطقه مس کیمیا با کانسارهای نوع مانتو در شیلی و ایران براساس بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت که منطقه مس کیمیا شباهت‌های بسیاری به کانسارهای نوع مانتو در شیلی و سایر نقاط ایران دارد که در ادامه بیان می‌شوند.

موقعیت زمین‌ساختی در کانسارهای نوع مانتو شیلی محیط کششی کمان و پشت کمانی است. براساس بررسی‌های اسپینوزا [۱۹] و رامیرز [۲۰]، بیشترین رخداد کانی‌سازی مس نوع مانتو در مناطق کششی و در کمربندهای ماگمایی وابسته به فرورانش ژوراسیک تا کرتاسه است. با توجه به گزارش‌های جباری [۶] و مهوشی [۷]، موقعیت زمین‌ساختی و محیط تشکیل واحدهای آتشفشانی شمال‌غرب بردسکن کمربندهای ماگمایی وابسته به پهنه فرورانش هستند (جدول۴).

سنگ میزبان: این نوع کانسارها بیشتر سنگ‌های آذرآواری آندزیتی و گدازه‌های آندزیتی بادامکی در توالی آتشفشانی

آندزیتی-بازالتی آهکی قلیایی تا اندزیتی-داسیتی است [۲۰-۲۲]. در منطقه مس کیمیا نیز، سنگ میزبان پیروکسن آندزیت و کنگلومرای آتشفشانی ائوسن است. هندسه کانسار نوع مانتو در منطقه مس کیمیا مانند کانسار نوع مانتوی شیلی چینه‌کران است (جدول۴).

کانی‌سازی مس در منطقه کیمیا نیز با کمربندهای ماگمایی پهنه فرورانش ائوسن در ارتباط بوده و کانی‌سازی در واحدهای آندزیتی و کنگلومرا و همچنین در مرز بین این واحدها رخ داده است. کانی‌های اصلی در کانسار نوع مانتو در شیلی شامل کالکوزیت، پیریت، کالکوپیریت بورنیت و دیژنیت هستند. در منطقه مس کیمیا، کانی اصلی کالکوزیت و به مقدار کمتر کالکوپیریت و پیریت است (جدول۴).

جدول۴ مقایسه کانی‌سازی مس در منطقه کیمیا با کانسارهای نوع مانتو در ایران و شیلی.

ویژگی/کانسار	کیمیا شمال‌غرب بردسکن	کال‌ابری شمال‌غرب بردسکن	ورزگ قائن	کوشک بهرام ایران مرکزی	کشکوییه رفسنجان	نوع مانتو شیلی
سنگ میزبان	پیروکسن‌آندزیت تا الیوین‌بازالت با بافت پورفیری و دیگر سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی	آندزیتی، بازالتی و دیگر سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی	آندزیت تا آندزیت-بازالت بادامکی و دیگر سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی	آندزیت تا تراکی آندزیت حفره‌دار و دیگر سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی	آندزیت با شکل‌های بادامکی و دیگر سنگ-های آتشفشانی-رسوبی	آندزیت با شکل‌های بادامکی، ریوداسیت و دیگر سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی
هندسه	چینه‌کران	چینه‌کران	چینه‌کران	چینه‌کران	چینه‌کران	چینه‌کران
کانی‌های اصلی	کالکوزیت، کوولیت، پیریت	کالکوزیت، کالکوپیریت، بورنیت، مس طبیعی، پیریت	کالکوزیت، دیژنیت،کولیت، بورنیت، مس طبیعی و کمی کالکوپیریت	پیریت، کالکوپیریت، کالکوزیت، بورنیت، دیژنیت به همراه مقدار بالایی هماتیت و گوتیت	بورنیت، کالکوزیت، کالکوپیریت،پیریت، دیژنیت به همراه مقدار بالایی هماتیت	بورنیت و کالکوزیت، کالکوپیریت، پیریت،دیژنیت به همراه مقدار بالایی هماتیت
ساخت و بافت	رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی	رگچه‌ای،پرکننده فضای خالی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده بادامک‌ها، پراکنده	پر کننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای، جانشینی(پیریت)	پرکننده‌فضای‌خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای،جانشینی (پیریت‌وپیروبیتومن)	پر کننده فضای‌خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای،جانشینی (پیریت و پیروبیتومن)
باطله همراه رگچه ها	کربنات، سیلیس	کربنات، سیلیس	————	کربنات، کلریت، سیلیس، هماتیت و فلدسپات قلیایی	کربنات، به مقدار کمتر سیلیس، کلریت، هماتیت و فلدسپات قلیایی	کربنات و کلریت ، سیلیس، هماتیت و فلدسپات قلیایی
دگرسانی	پروپیلیتیک، کربناتی،سیلیسی، زئولیتی، کلریتی	پروپیلیتیک، کربناتی،سیلیسی، زئولیتی، کلریتی	کربناتی،کلریتی، پروپیلیتیک	گسترش ضعیفی شامل‌کربناتی،پروپیلیتیک، سرسیتی، سیلیسی، هماتیتی و آرژیلیک	گسترش ضعیفی شامل کربناتی،هماتیتی و سریسیتی	گسترش ضعیفی شامل‌کربناتی، سیلیسی،پروپیلیتیک، سرسیتی و هماتیتی
مرجع	این پژوهش	[۶]	[۲۵]	[۲۶]	[۲۷]	[۲۱-۲۴]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.1.6]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.419]

همچنین کانی‌های باطله همراه با رگچه‌ها در کانسار نوع مانتو شیلی بیشتر کربنات و کلریت و مقدار محدودی سیلیس بوده که در منطقه مس کیمیا نیز باطله‌های غالب کربناتی و کلریتی هستند (جدول ۴).

برداشت

با بررسی‌های انجام‌شده در منطقه مس کیمیا و مقایسه آن با کانسارهای نوع مانتو در شیلی و ایران می‌توان نتیجه گرفت که براساس موقعیت زمین‌ساختی، سنگ میزبان، هندسه و سایر ویژگی‌ها، منطقه مس کیمیا از نوع مانتو و روزادی است. همچنین با توجه به گسترش توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در شمال‌غربی بردسکن و وجود کانی‌سازی‌های متعدد مس چون چشمه‌گز (نسیم)، دهنه سیاه، چشمه هادی، زنگالو، چشمه مرضیه، رهبری، چشمه‌هادی و ریزاب که ویژگی‌های زمین‌شناسی کانی‌سازی مشابه دارند، این منطقه یک کمربند مهم برای ذخایر مس نوع مانتو (چینه‌کران) در شمال‌شرقی ایران است. از این رو لازم است که برنامه‌های تفصیلی اکتشافی برای این بخش در دستور کار قرار بگیرد.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۳/۵۲۰۶۷ مورخ ۱۳۹۹/۲/۹ انجام شده‌است. از جناب آقای مهندس علیرضا ماهی فیض‌آبادی برای همکاری‌های لازم و در اختیار قرار دادن اطلاعات زمین‌شناسی و زمین‌شیمی ترانشه‌ها و گمانه‌ها و همچنین اجازه بررسی گمانه‌های منطقه سپاسگزاریم. از جناب مهندس حمید حافظی مقدس برای کمک در تهیه مقاطع مربوط به منطقه بسیار متشکریم.

مراجع

[1] Lindenberg, H. G., Görler, K., Ibbeken. H., *"Stratigraphy, structure and orogenetic evolution of the Sabzevar Zone in the area of Oryan Khorasan, NE Iran"*, Geol Surv Iran Rep, Vol. 51 (1978) 120-143.

[2] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., *"Geology, mineralization and geochemistry of Tak I, Taknar polymetal massive sulfide (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) deposit, Khorasan-Bardaskan"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Vol. 12, No. 2 (2004) 253-272.

[3] Taghadosi H., Malekzadeh Shafaroudi A., *"Mineralogy, alteration, geochemistry, and fluid inclusion studies of Fe oxide-copper mineralization of Namegh area, NE Kashmar"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Vol. 26, No. 3 (2018) 541-554.

[4] Shojaezadeh Sh., Ebrahimi Nasabadi Kh., Haidarian Shahri M.R., *"Estaj manganese mineralization, an example of volcano - sedimentary type manganese mineralization in the south of West Sabzevar"* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Vol. 25, No. 2 (2017) 411-426.

[5] Abbasnia H., Karimpour M., Malekzadeh Shafaroudi A., "Damanghor intermediate sulfidation epithermal Au mineralization, Northern Bardaskan: geology, alteration, mineralization, and geochemistry." Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Vol. 27, No. 3 (2019) 621-634.

[6] Jabari E., Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., *"Stratified copper deposit (Manto-type) Cal Abri in Eocene volcanic-sedimentary complex northwest of Bardaskan, northeast of Iran"*, Journal of advanced applied geology. Vol. 7, No. 1 (2017) 1-19.

[7] Mahvashi M., Malekzadeh Shafaroudi A., *"Cheshmeh Gaz (Nasim) copper deposit, NW Bardaskan: mineralogy, alteration, geochemistry, and determination of model"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Vol. 24, No. 3 (2016) 419-434.

[8] EftekharNezhad J., Aghanabati A., Hamzehpour B., Baroyant V., "1:250000 Geological map of Kashmar" Geological and mineralogocal exploration survey of Iran, (1976).

[19] Espinnoza, S., Veliz, H., Esquivel, J., Arias, J., Moraga, A. (1996), *"The cupriferous province of the Coastal Range, northern Chile"*, Soc. Econ. Geol. Spec. Publ., 5, p. 19-32.

[20] Ramirez, L.E., Palacios, C., Townley, B., Parada, M.A., Sial, A.N., Turiel, J.L.F., Gimeno, D., Valles, M.G., Lehmann, B., 2006, *"The Mantos Blancos copper deposit: an upper Jurassic breccia- style hydrothermal system in the Coastal Range of Northern Chile"*, Mineralium Deposita, Vol. 41, p. 246-258.

[21] Tosdal, R. M. & Munizaga, F., *"Lead sources in Mesozoic and Cenozoic Andean ore deposits, north-central Chile (30 – 34°S)"*, Mineral Deposita, Vol. 38(2003) 234 – 250.

[22] Wilson, N. S. F. & Zentilli, M., *"Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile"*, International Journal of Coal Geology, Vol. 65(2006) 158–1.

[23] Taylor, S. R. & McLennan, S. M., *"The continental crust: its composition and evolution"*, Blavkwell, Oxford, (1985).

[24] Morata, D., Aguirre, L., Feraud, G., Fuentes, F., Parada, M. A. & Vergara, M., *"The Lower Cretaceous volcanism in the Coastal Range of central Chile: geochronology and isotopic geochemistry"*, III South American Symposium on Isotope Geology, Extended Abstracts Volume (CD), Sociedad Geolo´gica de Chile, Santiago, Chile, (2001)321–324.

[25] Alizadeh V., Momenzadeh M., Emami M.H., *"Petrography, Geochemistry, Mineralogy, Fluid Inclusions and Mineralization Study of Vorezg-Qayen Copper Deposit"* Scientific quarterly journal geosciences, Vol. 22, No. 86 (2012) 47-58.

[26] Jebeli M., Lotfi M., Afzal P., Jafari Rad A.R., *"Kushk-e-Bahram (Manto-type) Stratabound copper mineralization, Central Iran"* National Geosciences Congeress, Vol. 38, 2019.

[9] Shahrabi M., Hoseini M., Shabani K.*,"1:100000 Geological map of Bardaskan"*, Geological and mineralogocal exploration survey of Iran, (2010).

[10] Hosseini. A., *"Final report of the second phase of exploration(detailed) of Kimia copper ore (2)"*, Khorasan Razavi mining engineering system organization, 2018.

[11] Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R.J., *"HOKIEFLINCS-H2O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H2O–NaCl"*, Computer in Geosciences, Vol. 49 (2012) 334–337.

[12] L. Whitney D., W. Evans B., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist, Vol. 95(2010), p. 185-187.

[13] Roedder. E., *"Fluid inclusions, Reviews in Mineralogy"*, Vol. 12 (1984) 644.

[14] Sheppherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M., *"A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies"*, Blackie and Son, (1985) 239.

[15] Lecumberri-Sanchez P., Steel-MacInnis M., Bodnar R.J., *"A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance"*, Geochim Cosmochim Acta, Vol. 92 (2012) 14-22.

[16] Seward. T.M., 1973., *"Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal solutions"*, Geochim, cosmochim, Acta, 37: 379-399.

[17] Seward, T.M., 1991, The hydrothermal geochemistry of gold, in: Foster, R. P. (ed.), gold metallogeny and exploration, Blakie and Sons Ltd. 432 p.

[18] Fournier, R.O., *"Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment"* Econ. Geol.94 (1999) 1193–1212.

Koshkoiye district of Rafsanjan, Dehaj-Sardoiye subzone", Scientific quarterly journal geosciences, Vol. 24, No. 95 (2015) 123-144.

[27] Abolipour M., Rastad A., RashidNezhad Omran N., *"Manto-type copper mineralization in pyrobitumen-bearing porphyritic andesite,*